

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

# تأثیر نانوذره‌ی فلزی (طلا) بر روی جفت شدگی انرژی بین موجبرهای پلاسمای سطحی بارگذاری شده با دی‌الکتریک

خرد، فخرالدین<sup>۱</sup>؛ حسینی فرزاد، محمود<sup>۲</sup>؛ ظریفی، عباس<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه یاسوج

<sup>۲</sup> بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

## چکیده

در این مقاله جفت شدگی بین سه موجبر پلاسمای سطحی بارگذاری شده با دی‌الکتریک در دو حالت بررسی می‌شود. در حالت اول سه موجبر در یک راستا (امتداد  $y$ ) قرار گرفته‌اند و با تحریک موجبر وسطی انتقال انرژی از این موجبر به دو موجبر کناری در طول انتشار بررسی می‌شود. در حالت دوم دو موجبر کناری یک فاصله‌ی طولی نسبت به وسطی پیدا می‌کنند. شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که اگر این فاصله‌ی طولی قابل ملاحظه باشد دیگر انتقال انرژی از موجبر وسطی به دو موجبر کناری رخ نمی‌دهد. در این شرایط چنانچه نانوذره‌ی فلزی (طلا) با شعاع مناسب به صورت متقارن در فاصله‌ی طولی بین موجبرها بر روی لایه طلا یا بدون این لایه قرار گیرد، خواهد توانست دوباره جفت شدگی انرژی بین این موجبرها را ایجاد کند.

## The effect of metal nano particle (gold) on the energy coupling between dielectric loaded surface plasma waveguides

Kherad, Fakhroddin<sup>1</sup>; Hosseini Farzad, Mahmood<sup>2</sup>; Zarifi, Abas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department Of Physics, College Of Science, University Of Yasooj, Yasooj

<sup>2</sup> Department Of Physics, College Of Science, University Of Shiraz, Shiraz

## Abstract

In this paper the coupling between three dielectric loaded surface plasma waveguides in two cases are investigated. In the first case, the three waveguides are stand along each other (along  $y$ ) and by exciting the middle one the energy transfer from this to other waveguides is investigated along the propagation direction. In the second case, the input face of the two sided waveguides (have lateral shift with respect to middle one) have a longitudinal distance from the output face of the middle one. The results obtain from the simulations show that if the distance is considerable no energy is transferred from the middle waveguide to sided waveguides. under this circumstances, when one metal nano particle with proper radius lays symmetrically in the longitudinal distance between these waveguides, the particle is over the thin gold layer or the substrate (without gold layer), the energy coupling between excited waveguide and the sided waveguides, which are located far from that, will be take placed again.

PACS No. *metal nano particle, waveguides*

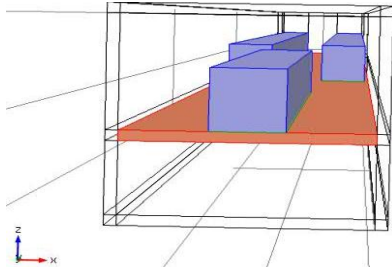
می‌روند [۱]. پلاسمون پلاریتون سطحی یک موج الکترومغناطیسی می‌باشد، که به طور منسجم با نوسانات الکترون‌های فلز جفت شده است [۲] و در یک مدل موجی در امتداد مرز مشترک فلز-دی‌الکتریک انتشار می‌یابد [۳]. مفید بودن موجبرهای پلاسمون

## مقدمه

پلاسمون پلاریتون‌های سطحی<sup>۱</sup> (SPPs) برای محدودسازی و هدایت سیگنال‌های اپتیکی در مقیاس زیر ابعاد طول موج به کار

<sup>1</sup> - Surface plasmon-polaritons

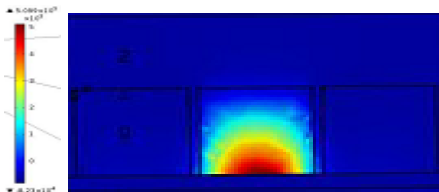
با ضریب شکست  $n_2=1/6$  که در راستای  $X$  نامحدود و در راستای  $Z$  نیم نامحدود می‌باشد. یک لایه‌ی طلا با ضریب شکست  $n_2=0.55+i11/5$  با ضخامت  $100\text{nm}$  که در راستای  $X$  نامحدود می‌باشد، بر روی آن نشانده می‌شود. بر روی لایه‌ی طلا سه موجبر با محیط پلیمر با ضریب شکست  $n_2=1/535$  ولی سطح مقطع مربعی که اطراف آنرا هوا احاطه کرده قرار می‌گیرد. در این ساختار راستای انتشار امواج SPP در راستای محور  $y$  اتفاق می‌افتد. در این مقاله مد پایه  $TM_0$  در نظر گرفته شده است. منظور از مد  $TM$ ، در این ساختار وجود مولفه‌ی  $X$  میدان مغناطیسی و مولفه‌ی  $y$  و  $Z$  میدان الکتریکی مد SPP است. همچنین وجود پلیمر باعث تقویت امواج پلاسمای سطحی بر روی لایه‌ی طلا و محدودسازی بهتر مد موجبر در دو بعد  $X$  و  $Z$  می‌شود.



شکل ۱: یک نما از سطح مقطع ساختار DLSPW مورد بررسی

### شبیه سازی انتشار موج در این موجبرها

در ابتدا سه موجبر پلیمر را در یک امتداد و با عرض و ضخامت  $600\text{nm}$  به موازات هم بر روی طلا شبیه سازی می‌کنیم. با تنظیم فاصله‌ی عرضی بین موجبرها به موجبر وسطی نور می‌تابانیم، می‌توانیم جفت شدگی این موجبرها را مورد بررسی قرار دهیم. اگر فاصله‌ی عرضی بین موجبرها  $100\text{nm}$  و طول موج نور فرودی  $1/55\mu\text{m}$  باشد، مشاهده می‌کنیم که شار انرژی در  $100\text{nm}$  اول طول موجبرها در موجبر وسطی می‌باشد سپس مشاهده می‌شود در  $1800\text{nm}$  شار انرژی کاملاً به دو موجبر کناری منتقل می‌شود و در  $4000\text{nm}$  شار انرژی دوباره به طور کامل در موجبر وسطی قرار می‌گیرد، شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) را باهم مقایسه کنید.



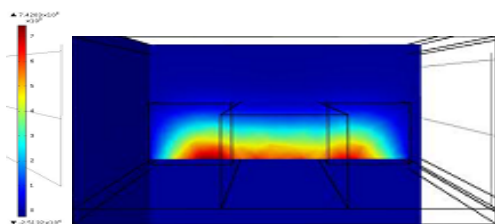
پلاریتون سطحی بارگذاری شده با دی الکتریک (DLSPWs)<sup>۱</sup> در مقایسه با دیگر موجبرهای SPP این هست که این موجبر دی الکتریک به آسانی می‌تواند خواص اپتیکی آن نسبت به گرما و اختلاف پتانسیل حساس باشد [۴]. در این مقاله، جفت شدگی و انتقال انرژی از یک موجبر به دو موجبر دیگر که انتها و ابتدای آن‌ها با فاصله از هم قرار دارند و این فاصله می‌تواند با دی الکتریک یا طلا و نانوذره‌ی فلزی (طلا) پوشیده شده باشد. با استفاده از روش المان محدود (FEM) و نرم افزار کامسول ۴/۳ به بررسی و شبیه سازی سه بعدی پرداخته‌ایم. ابتدا جفت شدگی شار انرژی بین سه موجبر در نظر گرفته شده است، که در این حالت سه موجبر در یک امتداد و به فاصله‌ی  $100\text{nm}$  از یکدیگر قرار دارند و انتقال انرژی بین سه موجبر به خوبی مشاهده می‌شود. سپس دو موجبر کناری موجبر وسطی را به اندازه‌ی  $10000\text{nm}$  در راستای  $y$  به جلو می‌بریم بطوریکه موجبر وسطی در راستای  $y$  از  $0$  تا  $20000\text{nm}$  و دو موجبر کناری از  $10000$  تا  $40000\text{nm}$  می‌باشند، که در این حالت در طول‌های بیشتر از  $20000\text{nm}$  مشاهده می‌شود که شار انرژی از موجبر وسطی به دو موجبر کناری منتقل می‌شود که همان تقسیم انرژی از موجبر وسطی به دو موجبر کناری می‌باشد. این کار در طول موج  $1/55\mu\text{m}$  انجام شده و نتایج نشان می‌دهد که طول موج  $1/55\mu\text{m}$  بهترین عملکرد را دارد. همچنین ضخامت و عرض  $600\text{nm}$  برای پل دی الکتریک<sup>۲</sup> روی فلز بهترین عملکرد را نشان می‌دهد. در ادامه دو موجبر کناری را در راستای انتشار با فاصله از موجبر وسطی قرار می‌دهیم و مشاهده می‌کنیم که این فاصله با لایه طلا و چه با دی الکتریک بستر پوشیده شده باشد، در فاصله‌های طولی که شار انرژی از موجبر وسطی به دو موجبر کناری به خوبی منتقل نمی‌شود (در فاصله بزرگ بین انتهای موجبر وسطی تا ابتدای دو موجبر کناری) وجود یک نانو ذره فلزی باعث می‌شود، که این انتقال انرژی به خوبی انجام شود.

### معرفی ساختار

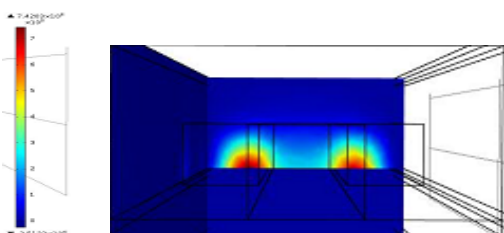
ساختار بررسی شده در این مقاله شامل یک بستر دی الکتریک با

<sup>۱</sup> - Dielectric Loaded Surface plasmon-polariton Waveguides

<sup>۲</sup> - Dielectric Ridge

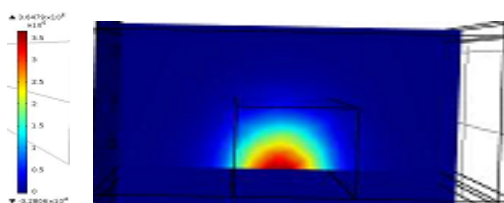


شکل ۶: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $12000\text{nm}$  برای سه موجبر با مشخصات شکل (۵).



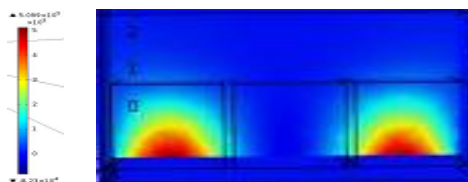
شکل ۷: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $20500\text{nm}$  برای سه موجبر با مشخصات شکل (۵).

اگر در راستای انتشار بین دو موجبر کناری و موجبر وسطی فاصله باشد و سطح زیرین این فاصله از جنس طلا باشد، مشاهده می‌شود تا فاصله‌های طولی زیاد بین آنها شار انرژی از موجبر وسطی به دو موجبر کناری به این دلیل که سطح زیرین از فلز می‌باشد منتقل می‌شود، تا این که مطابق شکل‌های (۸) و (۹) اگر فاصله‌ی طولی بین موجبر وسطی و دو موجبر کناری  $9500\text{nm}$  شود دیگر انتقال انرژی از موجبر وسطی به موجبرهای کناری صورت نمی‌گیرد. در این شرایط اگر در راستای انتشار، بین موجبر وسطی و دو موجبر کناری مطابق شکل (۱۰) یک نانو ذره‌ی فلزی (طلا) به شعاع  $10\text{nm}$  بر روی لایه‌ی طلا قرار دهیم، مشاهده می‌کنیم که شار انرژی از موجبر وسطی به دو موجبر کناری منتقل می‌شود.

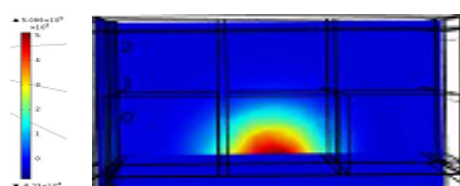


شکل ۸: توزیع انرژی در راستای  $y$  در طول  $5000\text{nm}$  برای سه موجبر با عرض و ضخامت  $60\text{nm}$  که موجبر وسطی از  $0$  تا  $5500\text{nm}$  و دو موجبر کناری از  $15000$  تا  $40000\text{nm}$  می‌باشد و طول موج نور فرودی  $1/55\mu\text{m}$  است.

شکل ۲: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $100\text{nm}$  برای سه موجبر با عرض و ضخامت  $60\text{nm}$  و فاصله‌ی بین دو موجبر  $100\text{nm}$  و طول موج نور فرودی  $1/55\mu\text{m}$  است.

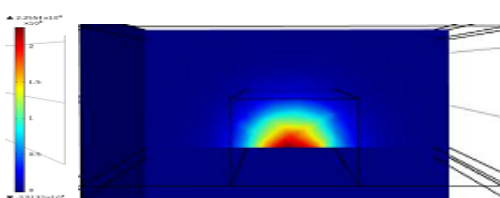


شکل ۳: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $1800\text{nm}$  برای سه موجبر با مشخصات شکل (۲). شار انرژی در این طول انتشار به دو موجبر کناری منتقل شده است.

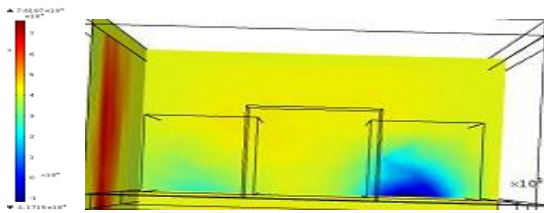


شکل ۴: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $4000\text{nm}$  برای سه موجبر با مشخصات شکل (۲). شار انرژی در این طول انتشار کاملاً به موجبر وسطی منتقل شده است.

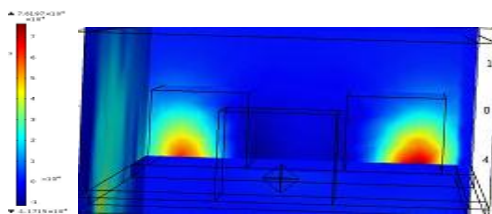
اگر دو موجبر کناری موجبر را به اندازه‌ی  $10000\text{nm}$  در راستای انتشار ( $y$ ) به جلو ببریم به طوری که موجبر وسطی در راستای  $y$  از  $0$  تا  $20000\text{nm}$  و دو موجبر کناری از  $10000$  تا  $40000\text{nm}$  قرار داشته باشند، در این حالت مشاهده می‌کنیم که در فاصله‌ی بین  $0$  تا  $10000\text{nm}$  شار انرژی در موجبر وسطی و در فاصله‌ی بین  $10000$  تا  $20000\text{nm}$  شار انرژی بین سه موجبر تقسیم می‌شود و در فاصله‌های بیشتر از  $20000\text{nm}$  تقسیم انرژی انتشاری مشاهده می‌شود یعنی شار انرژی از موجبر وسطی به دو موجبر کناری منتقل می‌شود و توسط این دو موجبر، انرژی حمل می‌شود. این مطلب در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است.



شکل ۵: توزیع انرژی در راستای  $y$  در طول  $9000\text{nm}$  برای سه موجبر با عرض و ضخامت  $60\text{nm}$  که موجبر وسطی از  $0$  تا  $20000\text{nm}$  و دو موجبر کناری از  $10000$  تا  $40000\text{nm}$  می‌باشد و طول موج نور فرودی  $1/55\mu\text{m}$  است.



شکل ۱۱: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $600\text{nm}$  برای سه موجبر با عرض و ضخامت  $600\text{nm}$  که موجبر وسطی از  $0$  تا  $700\text{nm}$  و دو موجبر کناری از  $3700$  تا  $4000\text{nm}$  می‌باشد و همچنین فاصله‌ی بین موجبر وسطی و دو موجبر کناری از جنس دی‌الکتریک می‌باشد و طول موج نور فرودی  $1/55\mu\text{m}$  است.



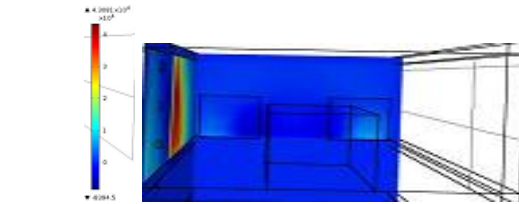
شکل ۱۲: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $600\text{nm}$  برای سه موجبر با مشخصات شکل (۱۱) فقط با این تفاوت که در راستای انتشار بین موجبر وسطی و دو موجبر کناری یک نانو ذره طلا قرار گرفته است.

### نتیجه گیری

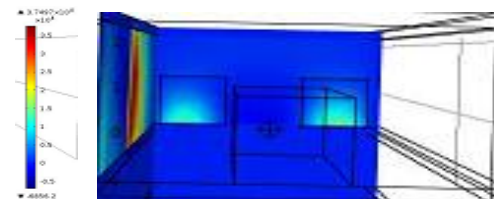
در این مقاله اثر پراکندگی پلاسمای سطحی نانو ذره فلزی (طلا) بر روی انتقال انرژی از یک موجبر SPP با ساختار فلز- پلیمر به دو موجبر با همین جنس که با فاصله‌های طولی مختلف نسبت به هم قرار گرفته‌اند، بررسی شده است. نتیجه مهم این تحقیق که بر اساس شبیه سازی سه بعدی انجام شده، نشان می‌دهد که نانو ذره فلزی که در امتداد انتشار و بین خروجی موجبر وسطی و ورودی دو موجبر کناری (بر روی لایه‌ی طلا یا بدون این لایه) قرار گرفته بخوبی انتقال و جفت شدگی انرژی را بین این موجبرها انجام می‌دهد. در حالیکه بدون این ذره امکان جفت شدگی این موجبرها وجود ندارد. این پدیده بخاطر تحریک و تشدید پلاسمای سطحی نانو ذره طلا می‌باشد.

### مراجع

- [1] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, *Nature* (London) 424, 824 (2003).
- [2] H. Raether, *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and Gratings* (Springer-Verlag, 1988).
- [3] T. Nikolajsen, K. Leosson, and S. Bozhevolnyi, *Appl. Phys. Lett.* 85, 5833 (2004).
- [4] A. V. Krasavin, and A. V. Zayats, *Phys. Rev. B* 045425 (2008).



شکل ۹: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $1600\text{nm}$  برای سه موجبر با مشخصات شکل (۸).



شکل ۱۰: توزیع شار انرژی در راستای  $y$  در طول  $1600\text{nm}$  برای سه موجبر با مشخصات شکل (۸) فقط با این تفاوت که در راستای انتشار بین موجبر وسطی و دو موجبر کناری یک نانو ذره طلا قرار گرفته است.

حال گر در راستای انتشار بین دو موجبر کناری و موجبر وسطی لایه‌ی طلا نباشد و سطح زیرین این فاصله از جنس دی‌الکتریک بستر باشد، مشاهده می‌شود در فاصله‌های طولی خیلی کمتری نسبت به حالت قبل شار انرژی می‌تواند از موجبر وسطی به دو موجبر کناری منتقل می‌شود. مطابق شکل (۱۱) اگر فاصله‌ی طولی بین موجبر وسطی و دو موجبر کناری  $3000\text{nm}$  شود دیگر انتقال انرژی از موجبر وسطی به موجبرهای کناری صورت نمی‌گیرد. حال اگر در راستای انتشار، بین موجبر وسطی و دو موجبر کناری مطابق شکل (۱۲) یک نانو ذره فلزی (طلا) به شعاع  $100\text{nm}$  قرار دهیم، مشاهده می‌کنیم در این شرایط شار انرژی از موجبر وسطی می‌تواند به دو موجبر کناری منتقل شود. علت این امر این است که امواج پلاسمای سطحی منتشر شده روی لایه طلا مستقیم یا غیر مستقیم خود را به نانو ذره طلا با قطر مناسب رسانده و باعث تشدید پلاسمای سطحی آن می‌شود. ایجاد پراکندگی تشدید یافته توسط نانو ذره طلا به انتقال انرژی به دو موجبر کناری که با فاصله مناسب در جلو آن قرار دارند کمک می‌کند. در عمل می‌توان نانو ذره را با ایجاد شرایط مناسب توسط انبرک لیزری یا لیتوگرافی پرتوالکترونی در فاصله‌ی مناسب بین موجبرها قرارداد.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی